

5     **Optischer Sensor zur Bestimmung der Konzentrationen von Farbstoffen und / oder Partikeln in flüssigen oder gasförmigen Medien und Verfahren zu dessen Betrieb.**

Die Erfindung betrifft einen optischen Sensor zur Bestimmung der Konzentrationen von Farbstoffen und / oder Partikeln in flüssigen oder gasförmigen Medien sowie ein Verfahren zu dessen Betrieb.

10    Die Bestimmung derartiger Farbstoff- oder Partikelkonzentrationen in gasförmigen oder flüssigen Medien stellt ein in unterschiedlichen Industriezweigen auftretendes Problem dar.

15    Insbesondere stellt die Bestimmung von Farbstoffkonzentrationen in flüssigen Medien ein wesentliches Element in der Abwasserkontrolle dar. Zudem stellt diese einen wesentlichen Parameter bei der Kontrolle und Steuerung von Spülprozessen, insbesondere bei dem Waschen von gefärbten und bedruckten Textilien dar. Bei derartigen Waschvorgängen besteht eine wesentliche Aufgabe darin, die Dauer des Waschvorganges und damit letztlich auch den Wasserverbrauch möglichst gering zu halten. Ein Ansatz zur Optimierung derartiger Waschvorgänge besteht darin, die Spülprozesse beim Waschen von Textilien in Abhängigkeit der aktuellen Farbstoffkonzentrationen im Spülwasser zu steuern. Der Spülprozess wird dabei dann beendet, wenn die Farbstoffkonzentration im Spülwasser einen bestimmten Grenzwert erreicht. Dadurch können unnötig 20 lange Spülprozesse vermieden werden, wodurch der Wasserverbrauch reduziert und die Dauer des Waschvorgangs erheblich verkürzt werden kann.

25

Voraussetzung hierfür ist, dass während der Spülprozesse die Farbstoffkonzentration im Spülwasser fortlaufend kontrolliert werden kann.

Ein bekanntes Verfahren zur Bestimmung von Farbstoffkonzentrationen in flüssigen Medien stellt die ECSD-Messtechnik dar, bei welcher eine elektro-  
5 chemische Bestimmung des chemischen Sauerstoffbedarfs des flüssigen Medi- ums durchgeführt wird, der als Kenngröße für die Farbstoffkonzentration herangezogen wird.

Nachteilig hierbei ist, dass die Messzeiten zur Bestimmung des chemischen Sauerstoffbedarfs in der Größenordnung von einigen Minuten liegen. Aufgrund  
10 dieser hohen Reaktionszeit bei der Ermittlung von Messwerten ist diese Me- thode nur bedingt geeignet um Spülvorgänge beim Waschen von Textilien zu kontrollieren.

Prinzipiell können auch optische Messgeräte wie Spektralfotometer zur Be- stimmung von Farbstoffkonzentrationen eingesetzt werden. Nachteilig bei der-  
15 artigen Messgeräten ist jedoch der hohe apparative Aufwand. Zudem ist nachteilig, dass zur Bestimmung der Farbstoffkonzentration im Spülwasser mittels Pumpen Proben des Spülwassers Durchflussküvetten zugeführt werden müssen, in welchen dann die Bestimmung der Farbstoffkonzentration erfolgt. Abgesehen von dem hierfür notwendigen hohen apparativen Aufwand ist hier-  
20 bei nachteilig, dass aufgrund des Zeitaufwandes für das Einleiten der Spülwas- serproben mittels der Pumpen in die Durchflussküvetten nur eine zeitlich ver- zögerte Bestimmung der Farbstoffkonzentration im Spülwasser erfolgen kann. Dies führt zu einer unerwünscht hohen Ansprechzeit bei der Steuerung des Spülvorganges.

25 Der Erfundung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung und ein Verfahren bereitzustellen, mittels derer bei geringem apparativem Aufwand eine schnelle

und präzise Ermittlung von Partikel- und Farbstoffkonzentrationen in flüssigen oder gasförmigen Medien ermöglicht wird.

Zur Lösung dieser Aufgabe sind die Merkmale der Ansprüche 1 und 23 vorgesehen. Vorteilhafte Ausführungsformen und zweckmäßige Weiterbildungen  
5 sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Der erfindungsgemäße optische Sensor dient zur Bestimmung von Partikel- bzw. Farbstoffkonzentrationen in flüssigen oder gasförmigen Medien und weist wenigstens einen Messkopf auf. Der Messkopf besteht aus einer Sendereinheit mit wenigstens einem sichtbare Sendelichtstrahlen emittierenden Halbleiter-Sendeelement und einer Empfängereinheit mit wenigstens einem Halbleiter-Empfangselement, auf welches der eine eine Absorptionsstrecke mit flüssigem oder gasförmigem Medium durchsetzende Teil der Sendelichtstrahlen geführt ist. An den Messkopf ist über elektrische Zuleitungen eine Auswerteeinheit gekoppelt, in welcher die am Ausgang des Halbleiter-Empfangselement anste-  
10 henden Empfangssignale zur Ermittlung der Partikel- bzw. Farbstoffkonzentra-  
15 tion ausgewertet werden.

Der erfindungsgemäße optische Sensor weist einen einfachen modularen Aufbau auf und ist damit kostengünstig herstellbar. Der Messkopf des optischen Sensors weist eine kleine Baugröße auf und ist somit einfach an einer Mess-  
20 stelle positionierbar und flexibel einsetzbar. Weiterhin zeichnet sich der optische Sensor durch einen robusten Aufbau auf, wobei dieser nahezu wartungsfrei ist.

Ein wesentlicher Vorteil des optischen Sensors besteht darin, dass der Messkopf des optischen Sensors als Tauchsensormodul einsetzbar ist. Die im Messkopf vorgesehenen optisch aktiven Sensorelemente sind dabei als Halbleiterbauelemente ausgebildet, wodurch der Messkopf eine kleine Baugröße aufweist und auf einfache Weise im flüssigen oder gasförmigen Medium derart

platzierbar ist, dass zwischen dem Halbleiter-Sendeelement und dem Halbleiter-Empfangselement eine definierte Absorptionsstrecke mit dem zu verwendenden flüssigen oder gasförmigen Medium liegt.

Um eine Beschädigung des Messkopfes bei Eintauchen insbesondere in das  
5 flüssige Medium zu verhindern, sind die Sendereinheit mit dem Halbleiter-  
Sendeelement und die Empfängereinheit mit dem Halbleiter-Empfangselement  
flüssigkeitsdicht gekapselt.

Die Bestimmung der Partikel- bzw. Farbstoffkonzentration im flüssigen oder  
10 gasförmigen Medium erfolgt mittels einer Absorptionsmessung, wobei die  
Länge der Absorptionsstrecke durch Fixierung der Sendereinheit und der Emp-  
fängereinheit an einer Halterung exakt vorgebbar ist.

Mit dem so ausgebildeten optischen Sensor kann in dem flüssigen oder gas-  
förmigen Medium selbst die Bestimmung der Partikel- bzw. Farbstoffkonzent-  
ration fortlaufend und nahezu ohne Verzögerungszeit erfolgen.

15 Damit können die von dem optischen Sensor generierten Sensorsignale insbe-  
sondere für eine schnelle und präzise Steuerung von Spülprozessen in einem  
Spülbecken, in welchem gefärbte Textilien gewaschen werden, eingesetzt wer-  
den.

20 Besonders vorteilhaft ist hierbei, dass nur der Messkopf des optischen Sensors  
in das flüssige Medium eingetaucht wird. Die Auswerteeinheit zur Auswertung  
der Sensorsignale befindet sich außerhalb des Spülbeckens und ist mittels e-  
lektrischer Zuleitungen an den Messkopf angeschlossen.

25 Infolge des modularen Aufbaus des optischen Sensors kann dieser in einfacher  
Weise dahingehend erweitert werden, dass mehrere Messköpfe an die Aus-  
werteeinheit angeschlossen werden. Damit kann mit dem optischen Sensor ins-

besondere die Farbstoffkonzentration von flüssigen Medien in mehreren Becken simultan erfasst werden. Dementsprechend kann mittels der Sensorsignale eines optischen Sensors eine Steuerung von Spülprozessen in mehreren Spülbecken erfolgen.

- 5 Aufgrund des modularen Aufbaus des optischen Sensors können die Messköpfe auch an Küvetten, insbesondere Durchflussküvetten montiert sein, so dass auch die Farbstoffkonzentration oder gegebenenfalls Partikelkonzentration in flüssigen oder gasförmigen Medien in derartigen Küvetten bestimmt werden können.
- 10 Erfindungsgemäß beruht die Bestimmung der Partikel- bzw. Farbstoffkonzentrationen in einem flüssigen oder gasförmigen Medium auf einer Absorptionsmessung, wobei als Sensorsignale die Empfangssignale des Halbleiter-Empfangselements ausgewertet werden, auf welchen der die Absorptionsstrecke durchsetzende Teil der Sendelichtstrahlen auftrifft. Die Bestimmung der
- 15 Farbstoffkonzentration des flüssigen oder gasförmigen Mediums erfolgt anhand des Lambert-Beer'schen Gesetzes.

Gemäß dem Lambert-Beer'schen Gesetz ist die Schwächung der Sendelichtstrahlen bei Durchgang durch die Absorptionsstrecke mit dem flüssigen oder gasförmigen Medium durch einen Extinktionswert definiert, welcher vom Produkt der Schichtdicke der Absorptionsstrecke und einem Extinktionskoeffizienten, der abhängig von der Wellenlänge der Sendelichtstrahlen und von den im flüssigen oder gasförmigen Medium enthaltenen Farbstoffen bzw. Partikeln ist, gebildet ist.

Dementsprechend ist die mit einem optischen Sensor durchgeführte Absorptionsmessung abhängig von den Sensorparametern, wie insbesondere der Wellenlänge der Sendelichtstrahlen.

Zur Eliminierung der Abhängigkeit der Absorptionsmessung von sensorspezifischen Parametern wird daher vor der Durchführung der Messungen ein Kalibrierungsvorgang durchgefrt, bei welchem mittels des optischen Sensors das flüssige oder gasförmige Medium mit vorgegebenen, bekannten Partikel- oder  
5 Farbstoffkonzentrationen vermessen wird. Daraus wird ein sensorspezifischer Extinktionswert ermittelt, auf welchen die bei den nachfolgenden Messungen ermittelten Messergebnisse bezogen werden.

Damit sind die Messergebnisse unabhängig von den Eigenschaften des optischen Sensors. Dabei ist insbesondere vorteilhaft, dass durch die Eliminierung  
10 der Wellenlängenabhängigkeit der Messergebnisse auch mit optischen Sensoren gearbeitet werden kann, die kein monochromatisches Licht aussenden.

Voraussetzung für eine präzise Bestimmung der Partikel- bzw. Farbstoffkonzentration im flüssigen oder gasförmigen Medium ist lediglich, dass der Wellenlängenbereich der Sendelichtstrahlen innerhalb des Farbspektrums des jeweils zu ermittelnden Farbstoffes liegt.  
15

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, Halbleiter-Sendeelement einzusetzen, welche sichtbare Sendelichtstrahlen im Wellenlängenbereich von 400 – 700 nm emittieren, wobei die spektrale Bandbreite der Sendelichtstrahlen bevorzugt kleiner als 100 nm ist.

20 Besonders vorteilhaft werden Halbleiter-Sendeelemente eingesetzt, die Sendelichtstrahlen im Wellenlängenbereich von etwa 470 nm emittieren. Mit dieser Ausfhrungsform des optischen Sensors kann ein breites Spektrum verschiedenartiger Farbstoffe erfasst werden, da diese in dem genannten Wellenlängenbereich lichtabsorbierend sind.

25 Eine besonders vorteilhafte Verwendung des erfindungsgemäßen optischen Sensors besteht darin, dass dieser zur Bestimmung des Rugehalts und / oder

Metallabriebs in Motorölen von Kraftfahrzeugen und dergleichen eingesetzt werden kann. Weiterhin kann der erfindungsgemäße optische Sensor zur Bestimmung von Partikelkonzentrationen in Abluft und damit im Bereich des Emissionsschutzes eingesetzt werden. Schließlich kann der optische Sensor zur 5 Bestimmung von Verunreinigungen in Abwässern eingesetzt werden.

Eine weitere erfindungsgemäße Verwendung des optischen Sensors besteht in der Bestimmung von Verunreinigungen in Abgasen von Kraftfahrzeugen.

Weiterhin kann der erfindungsgemäße optische Sensor zur Qualitätskontrolle in industriellen Prozessen eingesetzt werden. Beispiele hierfür sind die Kontrolle 10 von Pigment- oder Partikelkonzentrationen von Lacken sowie die Kontrolle der Farbstoffkonzentrationen in Färbebäder, welche beispielsweise zum Färben von Textilien eingesetzt werden.

Die Erfindung wird im Nachstehenden anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigt

15 Fig. 1 Schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels des optischen Sensors zur Bestimmung von Farbstoffkonzentrationen in flüssigen Medien.

Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines optischen Sensors 1 zur Bestimmung von Farbstoffkonzentrationen in flüssigen Medien. Generell kann der 20 optische Sensor auch zur Bestimmung von Partikelkonzentrationen eingesetzt werden. Weiterhin kann der optische Sensor zur Bestimmung von Farbstoff- oder Partikelkonzentrationen in gasförmigen Medien eingesetzt werden. Der optische Sensor 1 weist einen Messkopf mit einer Sendereinheit 2 und einer Empfängereinheit 3 auf, welche über Zuleitungen 4, 4' an eine in einem Gehäuse 5 integrierte Auswerteeinheit 6 angeschlossen sind.

Zum Anschluss des Messkopfes ist an der Auswerteeinheit 6 ein Stecker 7 vorgesehen. Prinzipiell können auch mehrere, vorzugsweise identische Messköpfe über separate Stecker 7 an die Auswerteeinheit 6 angeschlossen werden.

Die Sendereinheit 2 weist ein Sendelichtstrahlen 8 emittierendes Halbleiter-Sendeelement 9 auf. Die Empfängereinheit 3 weist ein Halbleiter-Empfangselement 10 zum Empfang der Sendelichtstrahlen 8 auf. Das Halbleiter-Sendeelement 9 emittiert sichtbare Sendelichtstrahlen 8 im Wellenlängenbereich von 400 – 700 nm, wobei die spektrale Bandbreite der Sendelichtstrahlen 8 kleiner als 100 nm ist. Dabei kann das Halbleiter-Sendeelement 9 von einer Leuchtdiode oder einer Laserdiode gebildet sein. Im vorliegenden Fall besteht das Halbleiter-Sendeelement 9 aus einer GaN-Leuchtdiode, die eine maximale Strahlungsleistung bei einer Wellenlänge von 470 nm aufweist.

Das Halbleiter-Empfangselement 10 besteht aus einem Fototransistor, einer Photodiode oder einem Fotowiderstand. Die spektrale Empfindlichkeit des Halbleiter-Empfangselementes 10 ist an die Wellenlänge der Sendelichtstrahlen 8 angepasst. Die fotoempfindliche Schicht des Halbleiter-Empfangselementes 10 besteht bevorzugt aus Cadmiumselenid, Cadmiumsulfid oder Mischungen hiervon.

Im vorliegenden Fall weist die Sendereinheit 2 und die Empfängereinheit 3 jeweils eine lichtdurchlässige und flüssigkeitsdichte Kapselung 11, 12 zur Aufnahme des Halbleiter-Sendeelements 9 bzw. des Halbleiter-Empfangselements 10 auf. Die Kapselung 11, 12 besteht beispielsweise aus Epoxidharzen oder Polymethacrylaten. Prinzipiell können die Kapselungen 11, 12 auch aus Glas, Teflon oder Polyolefinen bestehen.

In der Sendereinheit 2 kann zur Strahlformung der Sendelichtstrahlen 8 prinzipiell eine Sendeoptik oder eine spaltförmige Blende vorgesehen sein. Zudem

kann dem Halbleiter-Sendeelement 9 ein Monochromator zur Erzeugung monochromatischer Sendelichtstrahlen 8 nachgeordnet sein.

Zur Bestimmung der Farbstoffkonzentration eines flüssigen Mediums wird mit dem optischen Sensor 1 eine Absorptionsmessung durchgeführt. Dabei befindet 5 sich das flüssige Medium innerhalb einer Absorptionsstrecke, welche von den Sendelichtstrahlen 8 durchsetzt wird. Der nicht absorbierte Teil der Sendelichtstrahlen 8 trifft dabei auf das Halbleiter-Empfangselement 10 und generiert an dessen Ausgang Empfangssignale, die in der Auswerteeinheit 6 ausgewertet werden.

10 Die Absorptionsstrecke kann prinzipiell von einer Küvette mit transparenten Wänden, insbesondere von einer Durchflussküvette gebildet sein. Die Sendereinheit 2 und die Empfängereinheit 3 werden dann an den Außenwänden der Küvette fixiert.

15 Im vorliegenden Fall ist der Messkopf als Tauchsensormodul ausgebildet, so dass dieser in Spülbecken und dergleichen eintauchbar ist um dort direkt die Farbstoffkonzentration des flüssigen Mediums zu erfassen. Der so ausgebildete optische Sensor kann insbesondere auch zur Bestimmung von Partikelkonzentrationen in Motorölen bzw. in Abgasen von Kraftfahrzeugen eingesetzt werden.

Dabei sind die Sendereinheit 2 und die Empfängereinheit 3 an einer Halterung 20 13 fixiert, so dass zwischen diesen ein Messspalt vorgegebener Breite entsteht, welcher die Absorptionsstrecke definiert. Vorzugsweise sind die Positionen der Sender- und Empfängereinheit 3 an der Halterung 13 einstellbar.

25 Die Auswerteeinheit 6 dient zur Ansteuerung des Halbleiter-Sendeelements 9 sowie zur Auswertung der am Ausgang des Halbleiter-Empfangselements 10 anstehenden Empfangssignale. Zur Stromversorgung des optischen Sensors 1 ist in der Auswerteeinheit 6 ein Netzteil 14 vorgesehen. Das Halbleiter-

Sendeelement 9 und Halbleiter-Empfangselement 10 werden jeweils mit einer stabilisierten konstanten Gleichspannung gespeist. Hierzu sind jeweils ein Spannungsstabilisator 15, 16 und ein Vorwiderstand 17, 18 als Anschaltung für das Halbleiter-Sendeelement 9 bzw. das Halbleiter-Empfangselement 10 vorgesehen. Zur Vermeidung von Temperaturdriften der Empfangssignale kann in dem Stromkreis des Halbleiter-Empfangselements 10 zudem ein Heißleiterbauelement wie zum Beispiel ein NTC-Widerstand integriert sein. Ebenso können mit einem derartigen Heißleiterbauelement Temperaturdriften der Sendesignale des Halbleiter-Sendeelements 9 kompensiert werden. Alternativ oder zusätzlich kann zur Kompensation der Temperaturdriften der genannten Bauelemente auch ein geeignetes Software-Modul in der Auswerteeinheit 6 vorgesehen sein.

Die Auswerteeinheit 6 weist weiterhin einen Analog-/Digitalwandler 19 sowie eine diesem nachgeordnete Rechnereinheit 20 auf. Die analogen Empfangssignale werden im Analog-/Digital-Wandler 19 digitalisiert und dann in die Rechnereinheit 20 eingelesen. Dort erfolgt anhand der eingelesenen Empfangssignale die Bestimmung der Farbstoffkonzentration des flüssigen Mediums.

Zudem kann die Auswerteeinheit 6 eine nicht dargestellte analoge oder digitale Anzeigeeinheit zur Anzeige der aktuellen Empfangssignale aufweisen.

Die Auswertung der Empfangssignale, die als Strom- oder Spannungssignale zur Verfügung gestellt werden können, erfolgt gemäß dem Lambert-Beer'schen Gesetz.

Vor der Betriebsphase des optischen Sensors 1 erfolgt dabei eine Kalibrierung des optischen Sensors 1. Dieser Kalibriervorgang erfolgt mittels Referenzmessungen, bei welchen in der Absorptionsstrecke jeweils ein flüssiges Medium mit einer bekannten, vorgegebenen Farbstoffkonzentration des zu bestimmten Farbstoffes angeordnet ist.

Im vorliegenden Fall werden während des Kalibriervorganges zwei Referenzmessungen durchgeführt. Bei der ersten Referenzmessung befindet sich farbstofffreies flüssiges Medium in der Absorptionsstrecke. Die bei dieser ersten Referenzmessung ermittelten Empfangssignale  $I_0$  werden in der Auswerteeinheit 6 abgespeichert. Bei der zweiten Referenzmessung befindet sich in dem flüssigen Medium eine vorgegebene Farbstoffkonzentration  $C_{kal}$  des zu bestimmenden Farbstoffes. Typischerweise liegt diese Farbstoffkonzentration im Bereich von 0,5 – 1 g/l. Die bei dieser zweiten Referenzmessung ermittelten Empfangssignale  $I$  werden ebenfalls in der Auswerteeinheit 6 abgespeichert.

5                    Aus diesen beiden Messgrößen wird in der Auswerteeinheit 6 gemäß der nachfolgenden Beziehung ein sensor- und farbstoffspezifischer Referenz-Extinktionswert  $E_{kal}$  berechnet:

$$E_{kal} = \lg (I_0 / I) = \varepsilon' d C_{kal}$$

Wie aus der obigen Gleichung ersichtlich, ist der Referenz-Extinktionswert  $E_{kal}$  15 durch das Produkt eines fiktiven molaren Extinktionskoeffizienten  $\varepsilon'$ , der Schichtdicke  $d$  der Absorptionsstrecke, d.h. der Breite des Messspalts zwischen Sendereinheit 2 und Empfängereinheit 3, sowie der vorgegebenen Farbstoffkonzentration  $C_{kal}$  bei der zweiten Referenzmessung definiert.

Der fiktive molare Extinktionskoeffizient  $\varepsilon'$  ist durch das Produkt

20                     $\varepsilon' = \varepsilon \cdot f$

definiert. Dabei bildet  $\varepsilon$  den molaren, wellenlängenabhängigen Extinktionskoeffizienten und  $f$  einen Korrekturfaktor, der von der Beschaffenheit des optischen Sensors 1 abhängig ist.

In der auf den Kalibriervorgang folgenden Betriebsphase wird die Farbstoffkonzentration des Farbstoffes, auf welchen die Kalibrierung erfolgte, in dem zu

untersuchenden flüssigen Medium durch weitere Absorptionsmessungen mit dem optischen Sensor bestimmt.

Die dabei erhaltenen, die aktuellen Messwerte bildenden Empfangssignale  $I_{\text{mess}}$  werden dabei gemäß der folgenden Beziehung auf die erste Referenzmessung bezogen

$$E_{\text{mess}} = \lg (I_o / I_{\text{mess}}) = K C_x$$

Durch diese Referenzierung wird als aktuelle Messgröße der Extinktionswert  $E_{\text{mess}}$  erhalten, der ein Maß für die zu bestimmende Farbstoffkonzentration  $C_x$  bildet.

Der Proportionalitätsfaktor  $K$  ist durch die Beziehung

$$K = \varepsilon^e \cdot d$$

definiert.

Die Bestimmung der Farbstoffkonzentration  $C_x$  ergibt sich nach Umformen der Gleichungen für  $E_{\text{kal}}$  und  $E_{\text{mess}}$  durch folgende Beziehung

$$C_x = (E_{\text{mess}} / E_{\text{kal}}) C_{\text{kal}}$$

$$= [( \lg I_o - \lg I_{\text{mess}} ) / ( \lg I_o - \lg I )] C_{\text{kal}}$$

Wie aus dieser Gleichung ersichtlich ist die zu bestimmende Farbstoffkonzentration  $C_x$  durch die Messwerte  $I_o$ ,  $I$  und  $I_{\text{mess}}$  sowie die vorgegebene Referenz-Farbstoffkonzentration  $C_{\text{kal}}$  definiert. Die Bestimmung der Farbstoffkonzentration ist somit unabhängig von den sensorspezifischen Kenngrößen. Besonders vorteilhaft hierbei ist, dass zur Bestimmung der Farbstoffkonzentration  $C_x$  kein monochromatisches Sendelicht eingesetzt werden muss.

Die nachfolgende Tabelle zeigt typische Messergebnisse mit dem erfindungsgemäßen optischen Sensor 1 zur Bestimmung verschiedener Farbstoffkonzentrationen in Wasser als flüssigem Medium.

Tabelle 1

<b>Farbstoff</b>	<b>Vorgelegte Farbstoffkonzentration [g/l]</b>	<b>Empfangssignal [V]</b>	<b>Aus Messsignal errechnete Farbstoffkonzentration [g/l]</b>	<b>Abweichung [g/l]</b>
Wasser	0	2,380	0	0
Remazol Tiefschwarz N	0,1	1,850	0,093	0,007
	0,25	1,254	0,237	0,013
	0,5	0,568	0,50	0,000
	1,0	0,138 *)	1,00	0,000
Remazol Brilliant Blau R	0,1	2,308	0,120	0,020
	0,25	2,226	0,267	0,017
	0,5	2,101 *)	0,500	0,000
	1,0	1,880	0,947	0,053
Remazol Brilliant Rot F3B	0,1	2,100	0,106	0,006
	0,25	1,764	0,254	0,004
	0,5	1,398	0,470	0,030
	1,0	0,731 *)	1,000	0,000
Remazol Gelb GR	0,1	2,000	0,120	0,020
	0,25	1,600	0,307	0,057
	0,5	1,213	0,520	0,020
	1,0	0,657 *)	1,000	0,000

Wie aus der Tabelle ersichtlich, wurden für vier verschiedene Farbstoffe unterschiedliche Farbstoffkonzentrationen ermittelt. In der linken Spalte der Tabelle ist jeweils die vorgegebene Farbstoffkonzentration aufgetragen. Zum Vergleich sind jeweils die aus den in Form von Spannungssignalen vorliegenden gewonnenen Empfangssignalen berechneten Farbstoffkonzentrationen aufgetragen. Die für die zweiten Referenzmessungen vorgegebenen Referenz-Farbstoffkonzentrationen sind in der Tabelle jeweils mit \*) gekennzeichnet.

Wie aus der Tabelle ersichtlich, ist für einen großen Bereich von Konzentrationen und für eine Vielzahl unterschiedlicher Farbstoffe eine genaue Bestimmung von Farbstoffkonzentrationen im flüssigen Medium gegeben. Besonders vorteilhaft hierbei ist, dass sämtliche Messungen mit demselben optischen Sensor 1 durchgeführt werden können, der Sendelichtstrahlen 8 im Wellenlängenbereich von 470 nm emittiert. Diese Wahl der Senderwellenlänge erweist sich als vorteilhaft, da eine große Anzahl von Farbstoffen in diesem Wellenlängenbereich stark lichtabsorbierend ist.

Je nach Dicke des Messspaltes des optischen Sensors 1 können dabei Farbstoffkonzentrationen bis etwa 1 g/l oder sogar darüber bestimmt werden.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil des optischen Sensors 1 besteht darin, dass mittels eines oder mehrerer Messköpfe in einem oder in mehreren Becken vor Ort unter Echtzeitbedingungen die Farbstoffkonzentrationen im jeweiligen flüssigen Medium bestimmt werden können. Bei einem optischen Sensor 1 mit mehreren Messköpfen kann simultan an mehreren Messstellen die Farbstoffkonzentration in flüssigen Medien bestimmt werden, wobei die Auswertung der Messsignale in der Auswerteeinheit 6 erfolgt. Der optische Sensor 1 bietet somit eine besonders flexible und kostengünstige Möglichkeit zur Bestimmung der Farbstoffkonzentrationen.

Bei der Ausbildung des Messkopfes als Tauchsensormodul kann mit diesem im Becken vor Ort und nahezu ohne Verzögerungszeit die Farbstoffkonzentration der jeweiligen flüssigen Medien erfolgen. Der optische Sensor 1 kann somit besonders vorteilhaft zu Steuerungs- und Regelungsaufgaben in der Abwasser-  
5 kontrolle eingesetzt werden. Insbesondere ist der optische Sensor 1 vorteilhaft bei der Steuerung von Spülprozessen beim Waschen von gefärbten und bedruckten Textilien einsetzbar.

5       Bezugszeichenliste

- (1)     Optischer Sensor
- (2)     Sendereinheit
- (3)     Empfängereinheit
- 10    (4, 4<sup>a</sup>) Zuleitungen
- (5)     Gehäuse
- (6)     Auswerteeinheit
- (7)     Stecker
- (8)     Sendelichtstrahlen
- 15    (9)    Halbleiter-Sendeelement
- (10)    Halbleiter-Empfangselement
- (11)    Kapselung
- (12)    Kapselung
- (13)    Halterung
- 20    (14)   Netzteil
- (15)    Spannungsstabilisator
- (16)    Spannungsstabilisator
- (17)    Vorwiderstand
- (18)    Vorwiderstand
- 25    (19)   Analog-/Digital-Wandler
- (20)   Rechnereinheit

## 5 Patentansprüche

1. Optischer Sensor zur Bestimmung der Konzentrationen von Farbstoffen und / oder Partikeln in flüssigen oder gasförmigen Medien mit wenigstens einem Messkopf, bestehend aus einer Sendereinheit (2) mit wenigstens einem sichtbare Sendelichtstrahlen (8) emittierenden Halbleiter-Sendeelement (9) und einer Empfängereinheit (3) mit wenigstens einem Halbleiter-Empfangselement (10), auf welches der eine eine Absorptionsstrecke mit flüssigem oder gasförmigem Medium durchsetzende Teil der Sendelichtstrahlen (8) geführt ist, und mit einer über elektrische Zuleitungen (4, 4') an den Messkopf gekoppelten Auswerteeinheit (6), in welcher die am Ausgang des Halbleiter-Empfangselements (10) anstehenden Empfangssignale zur Ermittlung der Farbstoffkonzentration bzw. Partikelkonzentration ausgewertet werden.
2. Optischer Sensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass dieser mehrere Messköpfe aufweist, welche an eine gemeinsame Auswerteeinheit (6) angeschlossen sind.
3. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der oder jeder Messkopf als Tauchsensormodul ausgebildet ist, dessen Sendereinheit (2) und Empfängereinheit (3) flüssigkeitsdicht gekapselt sind.
4. Optischer Sensor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendereinheit (2) und die Empfängereinheit (3) zumindest im Bereich der optisch aktiven Flächen des Halbleiter-Sendeelements (9) und des Halb-

leiter-Empfangselementen (10) mit lichtdurchlässigen Materialien gekapselt sind.

5. Optischer Sensor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die lichtdurchlässigen Materialien von Epoxidharzen oder Polymethacrylaten, Glas, Teflon oder Polyolefinen gebildet sind.
6. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 3 – 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendereinheit (2) und die Empfängereinheit (3) zur Definition der Absorptionsstrecke an einer gemeinsamen Halterung (13) montiert sind.
- 10 7. Optischer Sensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Sendereinheit (2) und die Empfängereinheit (3) an der Halterung (13) positionsverstellbar gelagert sind.
- 15 8. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ausbildung der Absorptionsstrecke eine ein flüssiges oder gasförmiges Medium aufnehmende Küvette vorgesehen ist, an deren Außenseiten die Sendereinheit (2) und die Empfängereinheit (3) angeordnet sind.
9. Optischer Sensor nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Küvette als Durchflussküvette ausgebildet ist.
- 20 10. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 1 – 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleiter-Sendeelement (9) von einer Leuchtdiode oder einer Laserdiode gebildet ist.
11. Optischer Sensor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleiter-Sendeelement (9) Sendelichtstrahlen (8) im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm emittiert.

12. Optischer Sensor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die spektrale Bandbreite des Halbleiter-Sendeelements (9) kleiner als 100 nm ist.
13. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleiter-Sendeelement (9) Sendelichtstrahlen (8) im Bereich von 470 nm emittiert.
14. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 10 – 13, dadurch gekennzeichnet, dass dem Halbleiter-Sendeelement (9) im Strahlengang der Sendelichtstrahlen (8) ein Monochromator, ein Filter, eine spaltförmige Blende oder eine Sendeoptik nachgeordnet ist.
15. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 10 – 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleiter-Sendeelement (9) mit einer konstanten Gleichspannung gespeist ist.
16. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 1 – 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleiter-Empfangselement (10) von einem Fototransistor, einer Photodiode oder einem Fotowiderstand gebildet ist.
17. Optischer Sensor nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Halbleiter-Empfangselement (10) von einer konstanten Gleichspannung gespeist wird.
18. Optischer Sensor nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass zur Stabilisierung der Gleichspannung für das Halbleiter-Sendeelement (9) und Halbleiter-Empfangselement (10) jeweils ein Spannungsstabilisator (15, 16) und ein Vorwiderstand (17, 18) vorgesehen sind.
19. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass zur Temperaturkompensation der Empfangssignale

dem Halbleiter-Empfangselement (10) und / oder zur Temperaturkompensation der Sendesignale dem Halbleiter-Sendeelement (9) ein Heißleiterbauelement zugeschaltet ist.

20. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 17 – 19, dadurch gekennzeichnet, dass in der Auswerteeinheit (6) ein Software-Modul zur Temperaturkompensation der Empfangssignale vorgesehen ist.  
5
21. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 1 – 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (6) eine analoge oder digitale Anzeigeeinheit zur Anzeige der Empfangssignale aufweist.
- 10 22. Optischer Sensor nach einem der Ansprüche 1 – 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (6) eine Rechnereinheit (20) aufweist, in welche die Empfangssignale über einen Analog/Digitalwandler (19) eingelesen werden.
- 15 23. Verfahren zum Betrieb eines optischen Sensors gemäß einem der Ansprüche 1 – 22, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:

Durchführen von Referenzmessungen anhand von in der Absorptionsstrecke angeordneten Referenzmedien mit bekannten Farbstoffkonzentrationen oder Partikelkonzentrationen während eines Kalibrierungsvorganges zur Bestimmung eines sensor- und farbstoffspezifischen bzw. partikelspezifischen Referenz-Extinktionswertes  $E_{\text{kal}}$ ,  
20

nachfolgende Bestimmung von aktuellen Messgrößen bildenden Extinktionswerten  $E_{\text{mess}}$  für in der Absorptionsstrecke angeordnete flüssige oder gasförmige Medien,  
25

und anschließende Bestimmung der Farbstoffkonzentration oder Partikelkonzentration in dem jeweiligen flüssigen oder gasförmigen Medium

durch Referenzierung des gemessenen Extinktionswertes  $E_{mess}$  auf den Referenz-Extinktionswertes  $E_{kal}$ .

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenz-Extinktionswert gemäß der Beziehung  $E_{kal} = \lg (I_o / I_{kal})$  gebildet wird, wobei  $I_o$  und  $I_{kal}$  die Empfangssignale des Halbleiter-Empfangselements (10) bei einem in der Absorptionsstrecke angeordneten farbstofffreiem bzw. partikelfreiem Referenz-Medium und dem Referenz-Medium mit einer vorgegebenen Farbstoffkonzentration bzw. Partikelkonzentration  $C_{kal}$  des zu bestimmenden Farbstoffes bzw. der zu bestimmenden Partikel bilden.
25. Verfahren nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass der die aktuelle Messgröße bildende Extinktionswert  $E_{mess}$  gemäß der Beziehung  $E_{mess} = \lg (I_o / I_{mess})$  gebildet wird, wobei  $I_{mess}$  das Empfangssignal des Halbleiter-Empfangselements (10) bei dem in der Absorptionsstrecke angeordneten flüssigen oder gasförmigen Medium mit der zu bestimmenden Farbstoffkonzentration  $C_x$  des zu bestimmenden Farbstoffes bzw. der zu bestimmenden Partikel bildet.
26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung der Farbstoffkonzentration bzw. Partikelkonzentration  $C_x$  gemäß der Beziehung  $C_x = (E_{mess} / E_{kal}) C_{kal}$  erfolgt.
27. Verwendung des optischen Sensors gemäß einem der Ansprüche 1 – 22, zur Bestimmung des Rußgehalts und / oder Metallabriebs in Motorölen.
28. Verwendung des optischen Sensors gemäß einem der Ansprüche 1 – 22, zur Bestimmung von Verunreinigungen in Abgasen von Kraftfahrzeugen.

29. Verwendung des optischen Sensors gemäß einem der Ansprüche 1 – 22, zur Bestimmung von Partikelkonzentrationen in Abluft.
30. Verwendung des optischen Sensors gemäß einem der Ansprüche 1 – 22, zur Bestimmung von Verunreinigungen in Abwässern.

**Fig. 1**